



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje



Zavod za kvalitetu
Katedra za mjerenje i kontrolu

METODOLOGIJA POBOLJŠAVANJA KVALITETE "6 sigma"

ZAVRŠNI PROJEKT

Student: Marino Valjak

JMBAG: 0035150236

Mentor: doc. dr. sc. Biserka Runje

ZAGREB, 2007

SADRŽAJ

1. UVOD	4
2. ŠTO JE TO 6 SIGMA ?	5
3. POVIJESNI RAZVOJ	6
4. METODOLOGIJE RADA 6 SIGMA	9
4.1. DMAIC – Poboljšanje procesa	10
4.1.1. Korak definiranja procesa	12
4.1.2. Korak mjerenja značajki procesa	13
4.1.3. Korak analiziranja rezultata	15
4.1.4. Korak unaprjeđenja (poboljšanja) procesa	16
4.1.5. Korak kontrole procesa	17
4.2. DMADV – Konstrukcija procesa	18
4.3. DMAC - Upravljanje procesom	20
5. STATISTIČKA DEFINICIJA 6 SIGMA	21
5.1. Statistička osnova	21
5.2. Sposobnost procesa	23
5.3. Indeksi sposobnosti procesa	25
5.3.1. Potencijalna sposobnost - C_p	25
5.3.2. Demonstrirana izvrsnost - C_{pk}	26
5.4. Pomak procesa	27
6. PRIMJENA 6 SIGMA	30
6.1. Koraci uvođenja "Šest sigma" metodologije	30
6.2. Sudionici "Šest sigma" projekta	31
6.2.1. Pokrovitelji	32
6.2.2. Izvršno vodstvo	32
6.2.3. Prvaci	32
6.2.4. Učitelji crnog pojasa	32
6.2.5. Crni pojasevi	33
6.2.6. Zeleni pojasevi	33
6.2.7. Žuti pojasevi	33
6.3. Primjeri rezultata primjene "Šest sigma"	34
6.3.1. Usporedbe razina pouzdanosti	34
6.3.2. Rezultati tvrtki koje koriste 6σ metodologiju	36
7. ZAKLJUČAK	38
8. LITERATURA	39

Popis slika:

Slika 3.1: Ovisnost troškova i razine sigme	7
Slika 4.1: Koraci u poboljšanju procesa (DMAIC)	11
Slika 4.2: Tok definiranja procesa	12
Slika 4.3: Tok mjerenja procesa	14
Slika 4.4: Tok analiziranja rezultata	15
Slika 4.5: Tok poboljšanja procesa	16
Slika 4.6: Tok kontrole procesa	17
Slika 5.1: Funkcija vjerojatnosti	22
Slika 5.2: Površina pod krivuljom u ovisnosti o σ	22
Slika 5.3: Dovodenje procesa "pod kontrolu"	23
Slika 5.4: Poboljšanje kvalitete	24
Slika 5.5: Sposobnost procesa	24
Slika 5.6: Potencijalna sposobnost C_p	25
Slika 5.7: Ovisnost DPMO o razini sigme	28
Slika 5.8: Pomak razdiobe	28
Slika 5.9: Veza sigme i potencijalne sposobnosti C_p	29
Slika 6.1: Hijerarhija za uvođenje "Šest sigma" metodologije	31

Popis tablica:

TABLICA 5.1: Površina pod krivuljom u ovisnosti o σ	22
TABLICA 5.2: Ocjena sposobnosti procesa	26
TABLICA 5.3: Broj grešaka po milijunu mogućnosti (s $1,5\sigma$ pomakom)	27
TABLICA 5.4: Veza sigme i potencijalne sposobnosti C_p	29
TABLICA 6.1: Primjeri razina sigme	35
TABLICA 6.2: Razina sigme za događaje	35
TABLICA 6.3: Uštede nekih tvrtki primjenom 6σ	37
TABLICA 6.4: Ostvareni dobitci primjenom 6σ metodologije	37

1. UVOD

Kvaliteta je vrlo bitno obilježje svakog proizvoda ili usluge i predstavlja, uz cijenu i rok isporuke, mjerilo tržišne kompetencije i uspjeha poduzeća. Od ovih triju parametara u posljednje se vrijeme najviše pažnje pridaje kvaliteti. Kvaliteta je po definiciji zbroj svih karakteristika nekog proizvoda ili usluge kojima je svrha zadovoljenje očekivanja i postizanja zadovoljstva kupca ili korisnika.

Prema tome, proces osiguravanja i unapređivanja kvalitete postaje sve važniji u današnjem svijetu i koristi se mnogim alatima i metodologijama u cilju smanjenja odstupanja od željenih vrijednosti i postizanja savršenstva tj. što veće razine kvalitete. Tako i metodologija "Šest sigma" nastoji osigurati minimalan udio nekvalitetnih proizvoda ili usluga. U daljnjem će se tijeku ovoga rada pobliže pojasniti metodologija poboljšavanja kvalitete "Šest sigma".

2. ŠTO JE TO 6 SIGMA ?

"Šest sigma" je pravilima određen pristup i metodologija ili filozofija, bazirana na brojčanim (mjerljivim) podacima, kojoj je cilj smanjivanje (eliminiranje) gubitaka i poboljšanje kvalitete, troškova i izvedbe po jedinici vremena u bilo kojem procesu: od proizvodnje do transakcija tj. od proizvoda do usluge. Može se reći da je "Šest sigma" je vrlo snažna, usmjerena i vrlo točna implementacija dokazanih načela i metoda kvalitete koja objedinjava elemente iz radova mnogih poznatih stručnjaka na području kvalitete. "Šest sigma" teži radu procesa s praktički zanemarivim brojem grešaka. U mnogim organizacijama koje rade sa sustavom "Šest sigma" to znači mjeru kvalitete koja teži savršenstvu.

Statistički gledano "Šest sigma" predstavlja iznos varijacije prikazane u procesu koji je povezan sa zahtjevima korisnika ili njihovim specifikacijama. Kada proces djeluje na razini "Šest sigma", varijacija je tako mala da rezultira točnošću od 99,9997 % ili pojavom samo 3,4 greške na milijun mogućnosti (računato s iskustvenim pomakom od $1,5\sigma$). Sama oznaka za "Šest sigma" je malo grčko slovo σ (sigma) koje u statistici označava veličinu varijacije ili razinu defekata određenog proizvoda. Defekt ili greška se može definirati kao bilo koja značajka, koja će ili uzrokovati nezadovoljstvo klijenta, ili ne pristaje unutar dozvoljenih odstupanja.

Za poboljšanje organizacijske razine "Šest sigma" procesa potrebno je smanjiti količinu varijacija koje se pojavljuju. Postojanje manjeg broja varijacija donosi slijedeće prednosti:

- bolja predvidivost procesa,
- eliminacije grešaka na najmanju moguću mjeru,
- smanjenje vremena proizvodnje,
- smanjenje troškova proizvodnje,
- poboljšanje produktivnosti,
- poboljšanje poslovnih rezultata,
- proizvodi i usluge su kvalitetniji i dugotrajniji,
- korisnici su zadovoljniji.

3. POVIJESNI RAZVOJ

Sami korijeni "Šest sigma" kao metodologije mogu se naći sve do Carla Fredericka Gaussa (1777-1855) koji je uveo koncept normalne krivulje. Kao mjerni standard u varijaciji procesa, "Šest sigma" ima korijene u 1920-ima kada je Walter Shewhart pokazao da je tri sigma od aritmetičke sredine točka u kojoj proces zahtijeva korekciju. Mnogi mjerni standardi kao što su C_{pk} , Nula defekata i sl., došli su kasnije, ali sve zasluge za termin i koncept "Šest sigma" idu inženjeru Motorole, Billu Smithu.

Uvođenje novog koncepta upravljanja kvalitetom "Šest sigma" u Motoroli bilo je pitanje opstanka na tržištu, jer je neprekidno bila nadjačavana na tržištu od stranih tvrtki koje su bile sposobne proizvoditi proizvode više kvalitete s manjim troškovima. Kada je japanska firma nadjačala Motorolu koja je proizvodila Quasar televizore na američkom tržištu u 1970-ima, vodstvo Motorole je odmah odlučilo uvesti drastične promjene u načinu poslovanja tvrtke. Nakon uvođenja japanskog menadžmenta, tvornica je uspjela proizvoditi televizore sa samo jednom dvadesetinom defekata koji su bili prisutni pod Motorolinim menadžmentom. Na kraju su i sami direktori u Motoroli morali priznati da im kvaliteta nije dobra.

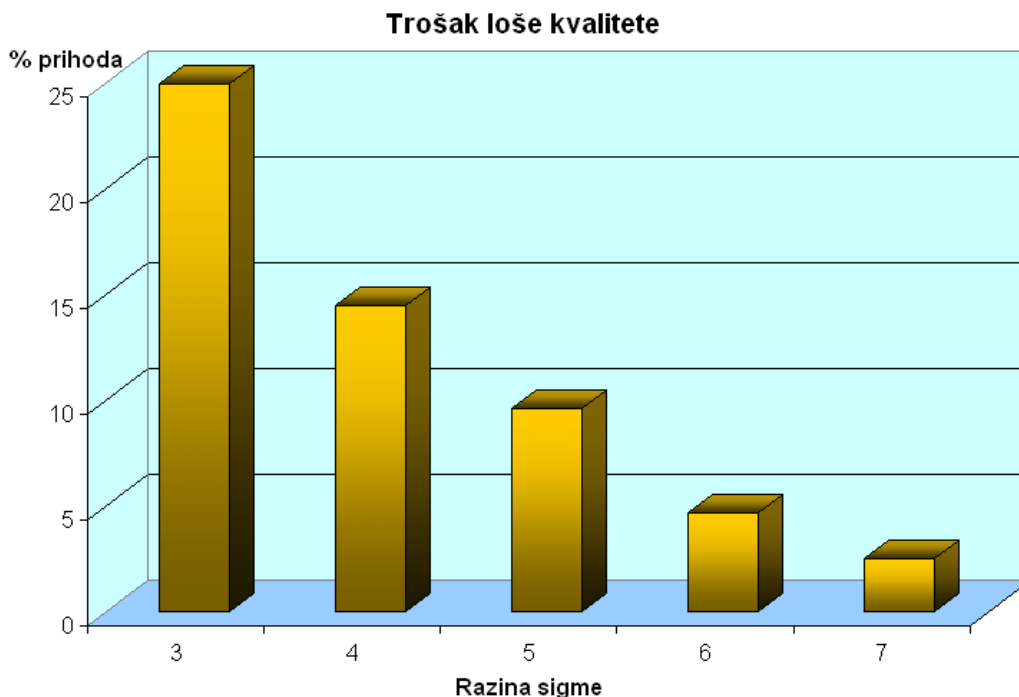
Sredinom 1980-ih Motorolin se generalni direktor Bob Galvin borio sa konkurencijom i konačno kada je izvršni predsjednik prodaje Art Sundry priznao da im je kvaliteta jako loša, njih su dvojica postavili cilj deseterostrukog poboljšanja u idućih pet godina. Njihov se plan temeljio na globalnoj konkurentnosti, sudjelovanju menadžmenta, poboljšanju kvalitete i izobrazbi.

1986. godine tim Motorolinih inženjera kvalitete koji je vodio inženjer Bill Smith, na temelju prijašnjih iskustava i uvida, osmišljava mjere poboljšanja kvalitete poznate kao "Šest sigma". On nije izumio ništa novo, već je samo primijenio već poznate metodologije svjetski poznatih osoba vezanih uz kvalitetu kao što su: Shewhart, Deming, Juran, Ishikawa, Ohno, Shingo, Taguchi i dr. Svi alati koji se koriste u "Šest sigma" metodologiji su skup mnogih disciplina u području osiguravanja kvalitete. Uveo je obuku svih zaposlenika i "Šest sigma" je postao standard za sve poslovne procese. Već iduće godine Motorola predstavlja ciljeve za dostizanje razine poslovanja od "Šest sigma" tj. ne više od 3,4 defekta na milijun prilika.

Godine 1987. tvrtkin je trud nagrađen i priznat s "The Malcolm Baldrige National Quality Award", američkom nacionalnom nagradom kojom se naglašava tvrtkina predanost njenim kupcima i kvaliteti.

Motorola registrira koncept "Šest sigma" kao zaštitnu marku i znak pri Američkom uredu za patente (IC 016. US 038. G & S, IC 041. US 107. G & S) godine 1991., a iste godine počinje i sa internim certificiranjem prvih crnih pojaseva koji su visoko kvalificirani "Šest sigma" stručnjaci. U narednim godinama i ostale vodeće organizacije počinju prihvaćati koncept "Šest sigma" i to čak i izvan proizvodne industrije od strane mnogih uglednih tvrtki i industrija: od financijskih usluga do transporta pa do industrije visoke tehnologije.

Primjer tih industrija su: Honeywell International (prije Allied Signal), Raytheon, ABB, Kodak, IBM, Texas Instruments i General Electric. Posebno je značajno uvođenje koncepta "Šest sigma" u General Electric 1995. godine za koje je zaslužan njihov generalni direktor Jack Welch, koji je značajno promovirao i popularizirao koncept i metodologije "Šest sigma" u svojim javnim nastupima. Sve ove tvrtke su korištenjem koncepta "Šest sigma" do današnjih dana uštedile milijarde američkih dolara, a za Motorolu se zna da je ta ušteda do 2006. godine iznosila 17 milijardi američkih dolara. Ovisnost troškova u odnosu na razinu varijacija dana je Slikom 3.1.



Slika 3.1: Ovisnost troškova i razine sigme

Godine 1999. Motorola je osnovala "Šest sigma" istraživački institut koji nudi usluge "Šest sigma" konzultacija i obrazovanja tj. izlazi se iz vlastitih okvira u cilju pomoći organizacijama svih tipova i veličina u cilju ostvarenja njihovih ciljeva za konstantnim poboljšanjem kvalitete. U narednim se godinama počinje uvoditi i certifikacija zelenih i crnih pojaseva. Institut svake godine školuje na tisuće zelenih i crnih pojaseva garantirajući da su oni stručni, sposobni i obučeni. Motorolini stručnjaci govore na mnogim konvencijama i svojim radom daju doprinos stalnom napretku ovog koncepta.

U počecima rada koncepta "Šest sigma" naglasak je bio na smanjenju defekata i skraćenju vremena ciklusa proizvodnje u cilju poboljšanja kvalitete proizvoda, ponajviše u postavkama same proizvodnje, ali je Motorola 2002. godine na osnovi tih saznanja ponovno osmislila koncept "Šest sigma" u cilju provedbi strategija i stvaranja vrijednosti. Dakle, koncept napreduje od metrologije prema metodologiji i sve do sustava menadžmenta za ostvarivanje poslovnih rezultata. To znači da danas tvrtke koriste koncept i metodologije "Šest sigma" u cilju: rasta udjela na tržištu, poboljšanja zadržavanja kupaca, razvoja novih proizvoda i usluga, ubrzavanja inovacija i prilagodbe promjenjivim željama kupaca.

Iako je "Šest sigma" prvenstveno osmišljena za poboljšanja u proizvodnoj okolini, ona je danas primjenjiva u bilo kojem poslu ili djelatnosti te je uvedena na sve razine poslovanja: od generalnog direktora preko menadžera kvalitete pa kroz sve razine do pojedinog radnika, te u svakom procesu: od same proizvodnje, kadrovske službe, pa do financijske službe. Iako je koncept "Šest sigma" osmišljen u Sjedinjenim američkim državama, on se proširio na cijeli svijet. Motorola je 2002. godine za ovo poboljšanje u konceptu "Šest sigma" i drugi puta dobila nagradu "The Malcolm Baldrige National Quality Award".

2003. godine Motorola je uvela renovirani koncept "Šest sigma" u cijelu tvrtku i obnavlja svoje napore u težnji za savršenstvom pomoću novih načina rada, uvidima u poslovanje i poboljšanjima. Već je 2004. godine bio je vidljiv rast od 42 % u prihodima i povećanje od 257 % u zaradi po dionici u prvom kvartalu 2004. godine.

4. METODOLOGIJE RADA 6 SIGMA

Cilj i uloga primjene koncepta i metodologije "Šest sigma" je osigurati korisniku kvalitetu, ali to je također i filozofija rada koja proizvođačima ili davateljima usluga daje smjernice za postizanje savršenstva i ostvarivanje želja kupaca u pogledu kvalitete. Ona djeluje kao metodologija koja se upotrebljava za promjene procesa i kulture organizacije i na taj način omogućuje tvrtkama postizanje visoke razine kvalitete.

Primjenu koncepta "Šest sigma" je najbolje koristiti s konceptom potpunog upravljanja kvalitetom, statističkom kontrolom i mjerenjem procesa te se orijentirati na kupca ili korisnika tj. njega staviti u prvi plan. Ključni elementi sustava "Šest sigma" su: zadovoljstvo kupca, definiranje procesa i metrike za praćenje procesa te izgradnja poslovnog tima i uključivanje svih zaposlenika. Uspješno uvođenje ovog koncepta u tvrtku zahtjeva strategiju menadžmenta i promjenu kulturnih navika unutar cijele kompanije što nije moguće postići u kratkom vremenu.

U cilju postizanja izvrsne kvalitete orijentirane korisniku potrebno je:

- identificirati i cjelokupno analizirati svaki proces,
- mjeriti glavne karakteristike procesa,
- identificirati i prepoznati korisnika procesa,
- prepoznati i preispitati korisnikove zahtjeve,
- zahtjeve izraziti u kritičnim karakteristikama za kvalitetu procesa (eng. CTQ – Critical To Quality),
- procijeniti prikladna numerička ograničenja za CTQ,
- unaprijediti ili redizajnirati proces tako da je izražen u CTQ,
- promijeniti kulturu u organizaciji što vodi do kontinuiranog unapređenja,
- zadržati stalno kontinuirano unapređenje procesa,
- unaprijediti postojeće projekte radi eliminacije uzroka grešaka,
- dizajnirati nove procese s njihovim uspješnim pokretanjem,
- smanjiti cijene i povišati efikasnost, što vodi većem profitu,
- uvoditi promjene u nesavršenim procesima i ispraviti probleme,
- veće zadovoljstvo i motivacija,
- povećati efikasnost i produktivnost,
- okrenuti fokus djelovanja prema korisniku,
- veće zadovoljstvo korisnika omogućuje više posla i vjernosti,
- smanjiti cijene i povećati profit.

U tvrtkama se primjenjuju tri metodologije "Šest sigma", od toga su prve dvije osnovne:

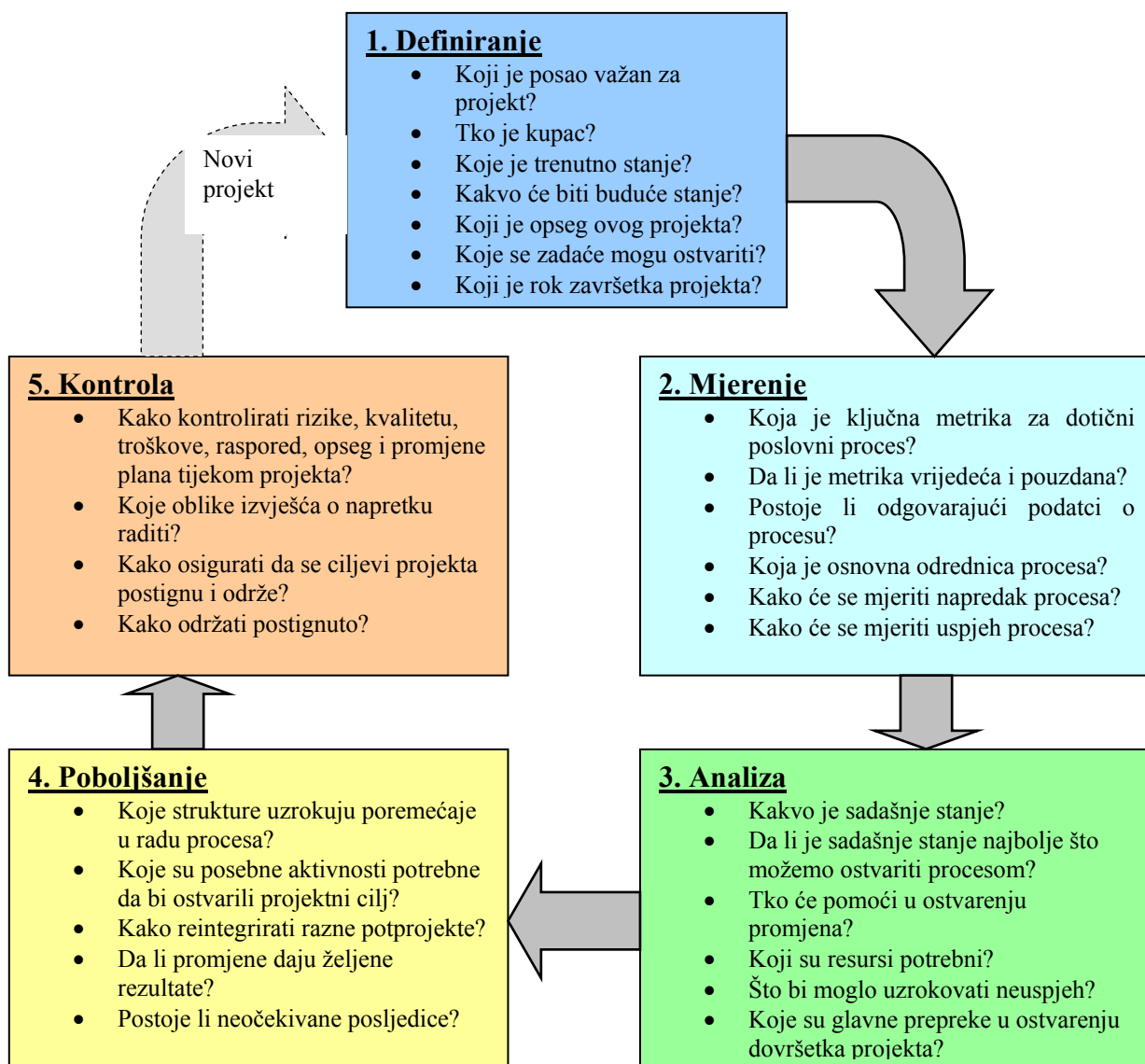
1. Poboljšanje procesa (DMAIC),
2. Konstrukcija i/ili rekonstrukcija procesa (DMADV),
3. Upravljanje procesom (DMAC – Process management).

4.1. DMAIC – Poboljšanje procesa

Ovaj pristup je najčešće korišteni aspekt "Šest sigma" metodologije, a svrha poboljšanja procesa je eliminacija uzroka grešaka u radu, u procesu koji već postoji u tvrtci. Greške mogu uzrokovati velike probleme za tvrtku, u vidu gubitaka ili nezadovoljstva kupaca, ili je mogu sprječavati da radi efikasno i efektivno kako bi mogla da greške ne postoje. Da bi se uklonile te greške koristi se pristup u pet koraka:

1. Definirati problem (**D**efine),
2. Mjeriti karakteristike (**M**easurement),
3. Analizirati rezultate (**A**nalyze),
4. Poboljšati proces (**I**mprove),
5. Kontrolirati proces (**C**ontrol).

Za uspješno korištenje ovog pristupa potrebno je poznavati ciljeve i izlazne rezultate svakog koraka, te pravilan pristup ovoj problematici. Pri tome se uzima u obzir svaki korak i alati koji su pri tome potrebni za obavljanje rada i dobivanje rezultata u svakome koraku. Na Slici 4.1 dan je prikaz slijeda koraka u poboljšanju procesa, te pitanja na koja je potrebno odgovoriti u cilju određivanja pojedinog koraka. Nadalje će se detaljnije obraditi svaki korak pojedinačno.



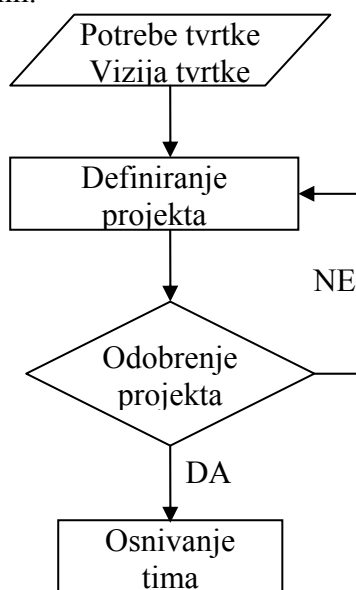
Slika 4.1: Koraci u poboljšanju procesa (DMAIC)

4.1.1. Korak definiranja procesa

Zadatak ovog koraka je definiranje cilja, svrhe i opsega projekta te prikupljanje popratnih informacija o procesu i njegovim korisnicima. Potrebno je odrediti tko su kupci/korisnici i što su njihovi prioriteti. Izlazni rezultati koraka definiranja obuhvaćaju sam iskaz namjeravanog unaprjeđenja procesa, način njegova mjerenja, visoku razinu prikaza procesa i prikaz želja korisnika, na kvalitativni način. Za potpuno definiranje cilja i svrhe projekta potrebno je prvo razumjeti granice procesa na kojem se izvode unaprjeđenja te shvatiti zahtjeve korisnika. Ove informacije se uključuju zajedno s očekivanim resursima i procijenjenim vremenom trajanja projekta u timski dijagram.

Ciljevi se mogu podijeliti po razinama: npr. za najvišu razinu menadžmenta ciljevi će biti strateški : veća odanost kupaca, veći povrat uloženog kapitala, povećanje udjela na tržištu ili veće zadovoljstvo radnika; na razini proizvodnih operacija cilj može biti povećanje produktivnosti pojedinog odjela, a na razini projekta smanjenje razine grešaka i povećanje produktivnosti pojedinog procesa. Nakon definiranja cilja, svrhe i opsega projekta te prikupljanja popratnih informacija o procesu i njegovim korisnicima počinje pokretanje projekta i to kroz slijedeće aktivnosti (Slika 4.2):

- **Izrada iskaza problema** - ova izjava mora opisati problem na način da se ustanovi:
 - koji su vidljivi dokazi problema – simptomi,
 - koliko je problem ozbiljan – izraženo kvantitativno i mjerljivo,
 - koliko je problem velik – da li je rješiv jednim jedinstvenim projektom ili je potrebno više potprojekata.
- **Izrada iskaza misije** – u ovoj se izjavi govori o tome što će se poduzeti u vezi problema, ova izjava mora sadržavati iste varijable i metriku koja je korištena u Izjavi iskaza problema.
- **Odabir projektnog tima** – odabrani projektni tim treba biti interdisciplinaran u cilju pokrivanja svih funkcija na koje će projekt poboljšanja imati utjecaja, direktnih i indirektnih.



Slika 4.2: Tok definiranja procesa

Kod ovog koraka primjenjuju se slijedeći alati :

- opći dijagram,
- plan komunikacija,
- kontrolni dijagram,
- CTQ (Critical to Quality) stablasti prikaz,
- prikupljanje podataka,
- Kano model,
- Pareto dijagram,
- dijagram razvoja procesa,
- SIPOC (DUPIK) analiza,
- kontrolni pregled,
- formula ovisnih varijabli $Y=f(X)$.

4.1.2. Korak mjerenja značajki procesa

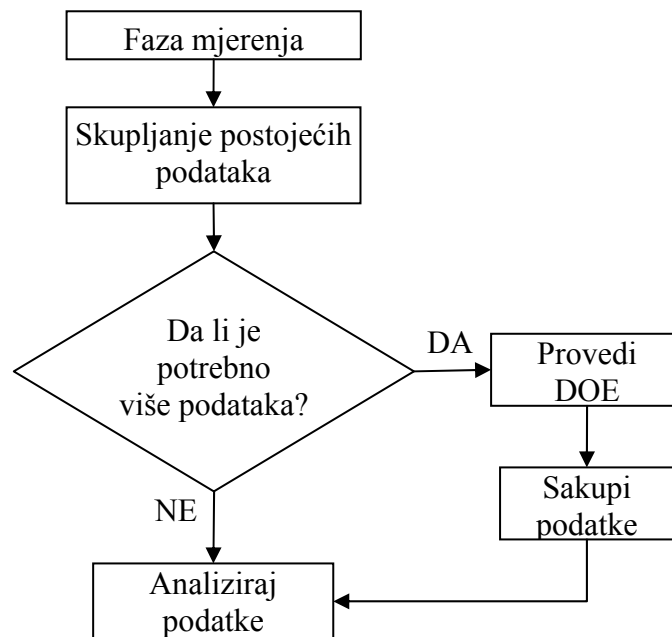
Tijekom koraka mjerenja značajki procesa identificiraju se simptomi postojećih problema i uspostavlja se osnova za mjerenje trenutnih i budućih značajki procesa. Također se razvija i dijagram rada procesa koji izaziva greške. Izlazni rezultati koraka mjerenja obuhvaćaju podatke koji najbolje opisuju lociranje problema, stupanj pojavnosti problema, osnovne podatke koji opisuju na koji način proces funkcionira te koliko kvalitetno ispunjava korisničke potrebe.

Dakle, svrha mjerenja je u biti analizirati simptome i onda potvrditi ili promijeniti Iskaz misije bazirane na rezultatima analize. U "Šest sigma" metodologiji, simptom je definiran kao vidljiv, opažljiv dokaz problema.

Ako se takav simptom pojavi u toku procesa, to označava kroničan i skriven problem kvalitete kojim se treba pozabaviti. Da bi se problem mogao riješiti potrebno je prije svega proučiti simptom na slijedeći način:

- **Razviti radne definicije,**
- **Mjeriti simptom,**
- **Odrediti granice** – tj. opseg projekta poboljšanja,
- **Usmjeriti se na najvažnije** – pojedini izvori grešaka uvelike doprinose problemu; kada bi se bavilo svim mogućim izvorima grešaka izgubilo bi se previše vremena, a rezultat ne bi obavezno opravdao uloženi trud.

Kada se završi analiza simptoma potrebno je još jednom pogledati Iskaz misije u cilju provjere da li je misija još ostvariva i primjenjiva, ili ju je potrebno izmijeniti da bi se mogla primijeniti. Rezultati analize mogu pokazati da je problem u nečemu sasvim različitom od onog koji je opisan u prethodnom koraku ili da je projekt poboljšanja prevelik i da treba biti razlomljen na više dijelova s kojima se može raditi. Prikaz toka procesa mjerenja značajki procesa dan je Slikom 4.3..



Slika 4.3: Tok mjerenja procesa

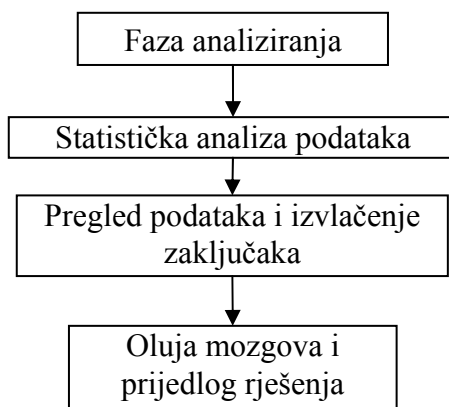
Korak mjerenja koristi sljedeće alate :

- kontrolni dijagrami,
- prikupljanje podataka,
- analiza obilježja podataka,
- dijagram toka,
- histogram,
- mjerna sustavna analiza (MSA),
- definiranje operacija,
- Pareto dijagram,
- analiza sigma procesa,
- dijagram razvoja procesa,
- Taguchi funkcija gubitaka,
- benchmarking.

4.1.3. Korak analiziranja rezultata

U ovome koraku identificiraju se glavni uzroci varijacije te se to potvrđuje adekvatnim podacima. Izlazni rezultati ovog koraka dovode do teorije koju je kasnije moguće empirijski provjeriti i potvrditi. Korak analiziranja stavlja u prvi plan specifične uzroke koji su fokusirani na manifestaciju prikaza problema. Dakle, u ovome je koraku potrebno:

- **Formulirati teorije** – olujom mozgova projektni tim dolazi do mogućih teorija, dokumentira ih i potom organizira u oblik uzročno-posljedičnog dijagrama,
- **Provjeravanje teorija** – prije nego se bilo koja teorija prihvati kao istinita, mora se cjeloviti ispitati; svi podaci koji su potrebni za testiranje se moraju prvo prikupiti, a ako podaci nakon testiranja pokazu da pojedina teorija nije važna, ona se odbacuje,
- **Pronalaženje ključnog uzroka** – kada se testiranja završe tada bi trebalo biti moguće određivanje ključnog uzroka ili više njih.



Slika 4.4: Tok analiziranja rezultata

Kod ovog koraka se koriste slijedeći alati :

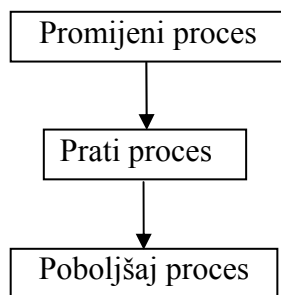
- oluja mozgova (brainstorming),
- uzročno-posljedični dijagram,
- dizajniranje eksperimenta (DOE),
- fokusirani iskaz problema,
- histogram,
- testiranje hipoteze,
- međusobno povezujući digraf,
- dijagram raspršenosti,
- stablasti prikaz.

4.1.4. Korak unaprjeđenja (poboljšanja) procesa

Cilj ovog koraka je razviti, testirati i implementirati rješenja na taj način kako bi se uočili glavni uzroci poremećaja, te na temelju njih kreirali određeni planovi poslovanja. Rezultati koraka poboljšanja uključuju planirane i testirane akcije koje se obavljaju na taj način da se eliminira ili reducira utjecaj glavnih uzročnika problema, prethodne i naknadne analize podataka koje pokazuju količinu pronađenih uzroka problema kao i usporedbu plana s kasnijom implementacijom. Proces poboljšanja procesa sastoji se od više slijednih radnji:

- **Procjena alternativa** – razmatraju se alternativne metode poboljšanja u cilju određivanja koja će metoda najbolje ukloniti ili smanjiti posljedice i ključne uzroke problema. Ova se procjena provodi koristeći čitav spektar kriterija procjene kao što su npr.: trošak, utjecaj, omjer troškova i koristi, kulturni utjecaj, ...,
- **Izrada poboljšanja** – odabrana je metoda poboljšanja i konstruiran je proces poboljšanja u cilju postizanja ciljeva projekta, i u njemu su određeni potrebni resursi, određene su potrebne procedure i ostale potrebne promjene, procjenjuju se potrebni ljudski kadrovi u cilju određivanja da li je potrebno dodatno obrazovanje zaposlenika,
- **Plan za "kulturni otpor"** – po svojoj prirodi nastojanja za poboljšanjem stvaraju promjene u organizacijama i "kulturni otpor" je prirodna posljedica promjene i zbog toga taj otpor treba uzeti u obzir kod projektnog plana poboljšanja,
- **Dokazati učinkovitost** – prije nego što se konačno usvoji poboljšanje treba dokazati njegovu učinkovitost u radnim uvjetima. To se može obaviti probnim radom, radom "na suho" bez dostave kupcu, testom prihvatljivosti ili simulacijama,
- **Implementirati** – ovo uključuje uvođenje predloženih promjena na način da ih prihvate. To zahtijeva jasan plan, opis promjene, objašnjenje zašto je promjena potrebna, uključenje svih kojih se promjena tiče.

Korak poboljšanja ne uključuje samo pojavnost rješenja već također i korištenje PDCA (Plan, Do, Check, Act – Planiraj, Čini, Provjeri, Djeluj) metode kojom se može procijeniti i poboljšati rješenje koje je namijenjeno implementaciji. Kritična komponenta ovog koraka je sama priprema zaposlenih ljudi za promjenu iako je za uvođenje poboljšanja procesa najbitnije dobro planiranje, dobra priprema i dobra suradnja između svih pojedinaca. Na slici 4.5 vidljiv je tok koraka poboljšanja.



Slika 4.5: Tok poboljšanja procesa

Pri provedbi ovog koraka koriste se slijedeći alati :

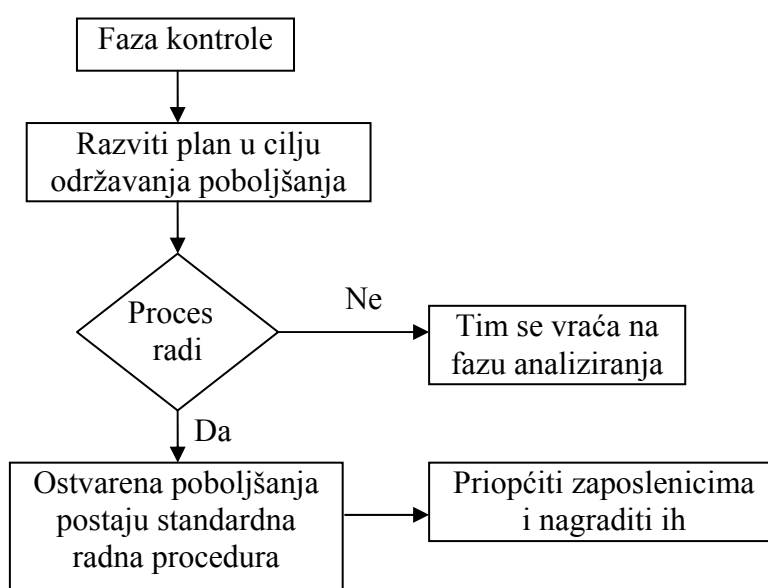
- dijagram mrežnih aktivnosti (Gantov dijagram),
- oluja mozgova (brainstorming),
- ljestvica obveza,
- kontrolni dijagrami,
- analiza uzroka i posljedica pogrešaka (FMEA),
- histogram,
- matrica uključenosti,
- Pareto dijagram,
- PDCA ciklus (Planiraj-Čini-Provjeri-Djeluj),
- matrica prioriteta,
- procjena sigma procesa,
- dijagram razvoja procesa,
- kontrolni pregled.

4.1.5. Korak kontrole procesa

Svrha koraka kontrole je održati razinu korisnosti koja je postignuta standardizacijom radnih metoda ili procesa. Na taj se način predviđaju buduća poboljšanja i omogućuje se izvođenje odgovarajućih zaključaka.

Izlazi koraka kontrole uključuju dokumentiranje novih metoda, trening prethodno zaposlenih na novim poslovima, sustav za promatranje i provjeru rezultata novih metoda kao i kompletnu dokumentaciju o povezanosti učenja, rezultata i kasnijih preporuka korištenih metoda drugim poslovnim subjektima.

Mnoštvo alata pomaže u promatranju i kontroli procesa. Jednostavno promišljanje u skladu s PDCA ciklusom (u ovom je slučaju bolje koristiti termin SDCA gdje «S» dolazi od Standardization) omogućuje konstantnu provjeru učinkovitosti postojećih procesa. Trening osigurava konzistentnost primjene te na taj način omogućuje jednostavnije i lakše obavljanje poslova svim sudionicima procesa.



Slika 4.6: Tok kontrole procesa

Ovaj korak obuhvaća slijedeće alate :

- plan komunikacija,
- kontrolni dijagrami,
- PDCA ciklus,
- dijagram upravljanja procesom,
- dijagram razvoja procesa,
- kontrolni pregled.

4.2. DMADV – Konstrukcija procesa

Ponekad jednostavno poboljšanje postojećeg procesa ili proizvoda nije dovoljno pa stoga treba konstruirati ili osmisliti nove proizvode ili procese ili već postojeći trebaju biti rekonstruirani tj. obnovljeni. Ima više razloga zašto bi to bilo potrebno:

- Tvrtka može odlučiti da zamijeni, radije nego da popravlja, jedan ili više njenih osnovnih procesa ili proizvoda,
- Tvrtka može otkriti tijekom projekta poboljšanja da poboljšanje postojećeg procesa neće dati razinu kvalitete koju kupci zahtijevaju,
- Tvrtka uočava priliku da ponudi potpuno nov proizvod ili uslugu.

Pristup koji se koristi pri konstruiranju ili rekonstruiranju novog proizvoda ili usluge naziva se DFSS (Design for Six Sigma) tj. Konstrukcija za postizanje "Šest sigma". To je u biti primjena načela metodologija "Šest sigma" na konstrukciju proizvoda i pripadajućih proizvodnih i ostalih popratnih procesa. Da bi se od nastanka proizvoda ili usluge moglo poslovati na visokoj razini kvalitete prijeko je potrebno da se potpuno razumiju očekivanja i želje kupaca (CTQ) prije nego što se završi proces konstruiranja i početak proizvodnje. Danas se koristi dosta metodologija u sklopu DFSS-a, koje su ovdje i navedene, a od njih je prva najvažnija:

- DMADV (define, measure, analyze, design, verify),
- IDOV (identify, design, optimize, validate),
- DMEDI (define, measure, explore, develop, implement),
- DMADOV (define, measure, analyze, design, optimize, verify),
- DCCDI (define, customer concept, design, implement).

Osnovna metodologija je DMADV i sastoji se od 5 koraka:

1. Definirati (**Define**) ciljeve aktivnosti konstruiranja koji su sukladni s zahtjevima kupaca i strategijom tvrtke,
2. Mjeriti (**Measure**) i utvrditi kritične karakteristike za kvalitetu (CTQ – Critical to quality), mogućnosti proizvoda, sposobnost proizvodnog procesa i procijeniti rizike,
3. Analizirati (**Analyze**) postojeće proizvode ili usluge u cilju razvoja i konstrukcije alternativa, stvoriti visoku razinu kvalitete konstrukcije i procijeniti sposobnost konstrukcije te odabrati najbolju konstrukciju,
4. Konstruirati (**Design**) detalje, optimizirati konstrukciju i planirati provjeru konstrukcije, korištenje simulacija,
5. Provjeriti (**Verify**) konstrukciju, staviti u probni rad, ostvariti proizvodni proces i primopredaju vlasnicima procesa.

Ovaj pristup se pokazao najboljim u proizvodnim uvjetima, dok se van okoliša tvornice baš i ne koristi. Kada se koristi DMADV metodologija u toku inovacije proizvoda, provode se koraci kojima se osigurava da proizvod ili usluga zadovoljava zahtjeve kupaca. DMADV metodologija se oslanja na tvrtkinu sposobnost da razumije korisnikove želje i potrebe te odredi koje su neostvarene. U većini tvrtki se događa da se bezobzirno prihvataju raznorazni ulazni kriteriji u procesu inovacije. Ti ulazni kriteriji mogu uključivati: rješenja, karakteristike, potrebe, koristi, pobude, oduševljenje kupca, prikrivene potrebe, itd. s namjerom da će neki od tih kriterija dovesti do predvidljive inovacije, a u biti neće.

DMADV metodologija je osmišljena s ciljem da stvori primjenjiv i prilagodljiv skup alata za primjenu metodologije "Šest sigma" na proces inovacije. Ona precizno definira koji su ulazni podatci potrebni i određuju strukturu, sadržaj i oblik kojeg moraju biti da bi bili valjani u procesu inovacije. Odabrani ulazni podatci omogućuju ostvarenje prave inovacije.

Ono što uopće ne iznenađuje, je da tvrtke koje koriste proces inovacije baziran na DMADV metodologiji dobivaju mnogo više prilika za proboj na tržište i imaju manje neuspjelih projekata. Te tvrtke dostavljaju više uspješnih proizvoda na tržište i to sve rade jeftinije i brže od konkurencije.

4.3. DMAC - Upravljanje procesom

Zbog toga što zahtijeva korjenitu promjenu u načinu kako je organizacija strukturirana i vođena, menadžment procesa je često najizazovniji i vremenski najrastršniji dio koncepta "Šest sigma". U osnovi se upravljanje procesom sastoji od:

1. Definiranja (**Define**) procesa, ključnih zahtjeva kupaca i "vlasnika" procesa,
2. Mjerenja (**Measure**) radnog učinka naspram zahtjeva kupaca i ključnih indikatora rada procesa,
3. Analiziranja (**Analyze**) podataka da bi se poboljšale mjere i usavršili mehanizmi upravljanja procesom,
4. Kontroliranja (**Control**) radnih svojstava procesa pomoću nadgledanja ulaza u proces, rada procesa i izlaza procesa te brza mogućnost reagiranja na probleme i varijacije u procesu.

Menadžment procesa znači neprekidno unapređenje proizvodnje, transakcija i servisnih procesa u cilju zadovoljavanja potreba i očekivanja kupaca ili korisnika pomoću preventivnog održavanja, organizacije radnog mjesta i korištenja mogućnosti zaustavljanja linija. "Šest sigma" metodologija naglašava provođenje procesa poboljšanja kao projekata. Tvrtke rade na projektima poboljšanja u cilju rješavanja problema u procesima koji su kritični za zadovoljstvo kupca i organizacijske strateške ciljeve.

5. STATISTIČKA DEFINICIJA 6 SIGMA

5.1. Statistička osnova

"Šest sigma" metodologija je fokusirana na jedan cilj: osigurati da su proizvodi i usluge blizu savršenstva, a to u biti znači da može postojati greška od samo 3,4 primjerka na milijun ili rad sa 99,9997 % sigurnosti (s pomakom od $1,5\sigma$). Da bi se to postiglo koriste se stroge statističke tehnike i metodologije, bazirane na mjerljivim podacima, kojima je cilj kontrola kvalitete. Dakle, metodologija "Šest sigma" je dobro ukorijenjena u matematici i statistici.

Metodologijom "Šest sigma" poboljšavamo procese koji su opisani pomoću normalne razdiobe koju je definirao Carl Friedrich Gauss pa se još naziva i Gaussova krivulja. Ona ima oblik zvona te je simetrična oko osi y, a os x joj je asimptota koja seže od $-\infty$ do $+\infty$. Ova je krivulja potpuno neovisna od granica dopuštenih odstupanja (LSL i USL), a njen oblik isključivo ovisi o procesu, opremi, osoblju i ostalim čimbenicima.

Normalna razdioba pripada kontinuiranoj razdiobi u kojoj kontinuirana slučajna varijabla može poprimiti bilo koju vrijednost u određenom intervalu. Slučajna varijabla koja je distribuirana po normalnoj razdiobi je veličina na koju djeluje više nezavisnih slučajnih faktora.

U ovoj razdiobi funkcija vjerojatnosti ima oblik

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

iz čega se vidi:

1. Funkcija vjerojatnosti je određena sa dva parametra μ i σ^2 pa se označava sa $N\{\mu, \sigma^2\}$.
2. Očekivanje μ zamjenjuje sa \bar{x} iz empiričkih podataka u praktičnim primjenama.
3. Funkcija je definirana na čitavom brojnem pravcu $[-\infty, \infty]$.
4. Funkcija je simetrična s obzirom na pravac $x = \bar{x}$ te na tom mjestu ima maksimum koji je pozitivan.

Varijanca normalne razdiobe iznosi:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2$$

n – neovisna opažanja (broj ponovljenih mjerenja)

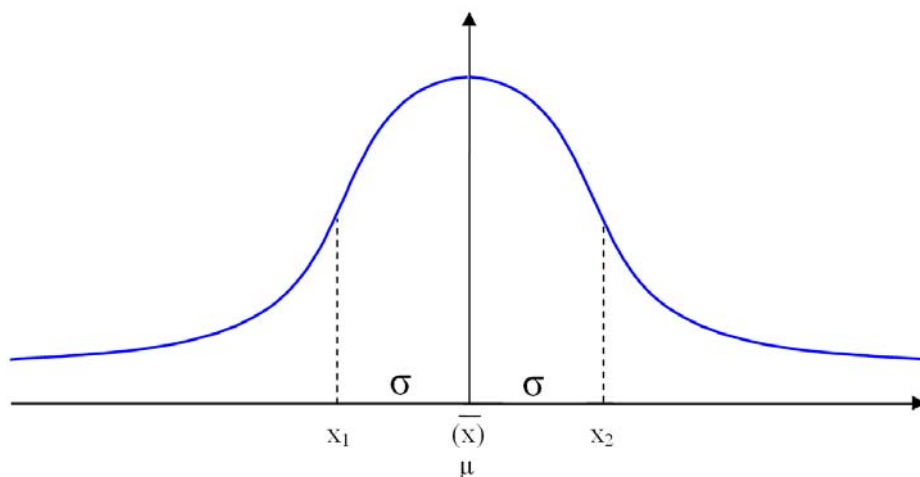
μ – očekivanje (istinita vrijednost)

x_i – slučajna varijabla (i-ti rezultat mjerenja)

Iz varijance možemo izračunati standardno odstupanje σ (sigma):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}$$

Funkcija vjerojatnosti prikazana je na Slici 5.1:

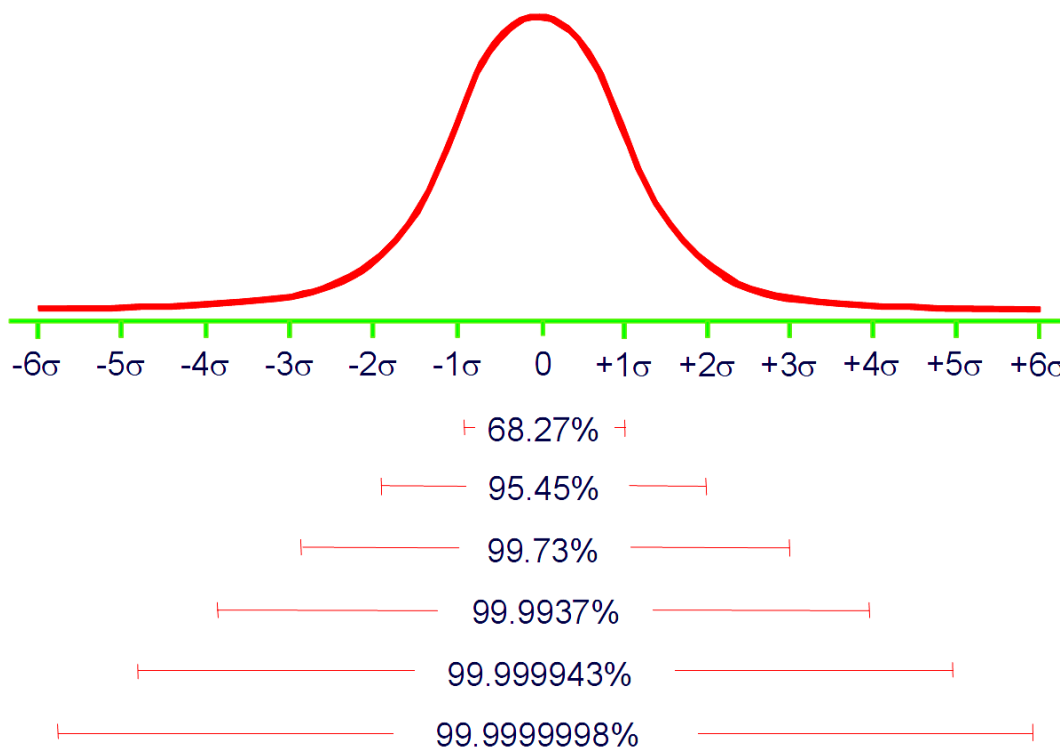


Slika 5.1: Funkcija vjerojatnosti

Površina ispod krivulje normalne razdiobe odgovara vjerojatnosti nekog događaja ili pojave određenog rezultata kako je to prikazano Tablicom 5.1 i Slikom 5.2.

TABLICA 5.1: Površina pod krivuljom u ovisnosti o σ

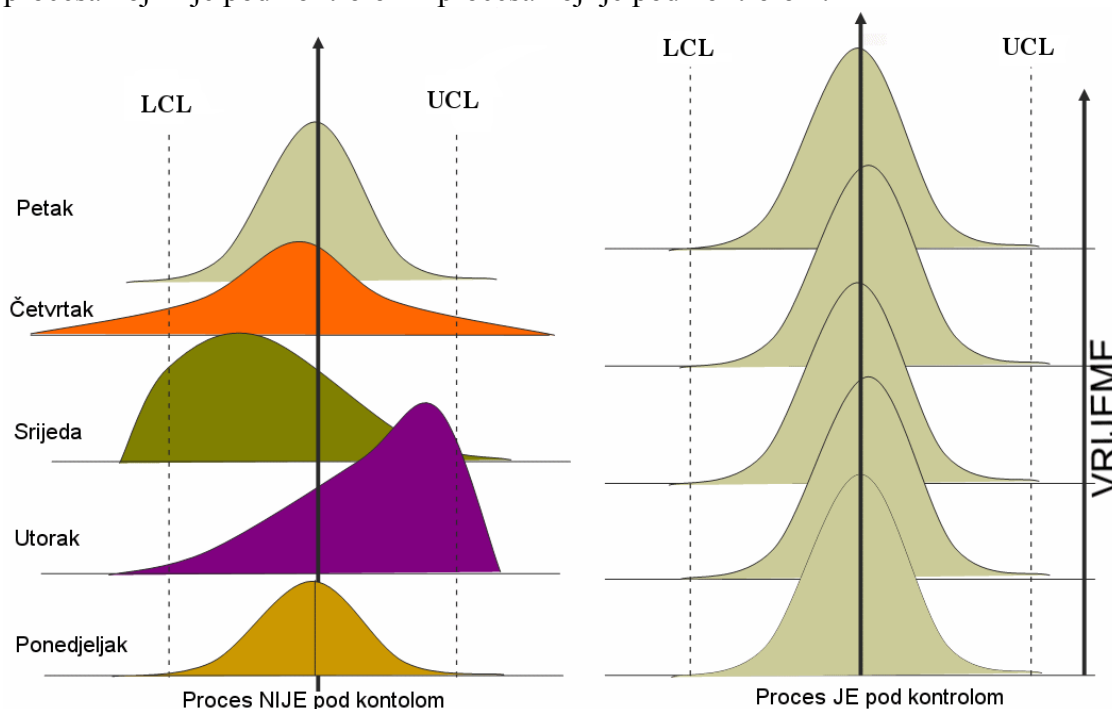
Sigma	Postotak
1	68,27%
2	95,45%
3	99,73%
4	99,9937%
5	99,999943%
6	99,9999998%

Slika 5.2: Površina pod krivuljom u ovisnosti o σ

"Šest sigma" predstavlja 6 standardnih odstupanja iznad i ispod vrijednosti očekivanja, odnosno ukupno 12 standardnih odstupanja.

5.2. Spособnost procesa

Metodologija "Šest sigma" je program poboljšanja kvalitete kojemu je cilj proces staviti pod kontrolu i time ostvariti minimum grešaka. Raspodjela podataka u procesima aproksimira se normalnom razdiobom. Da bi se mogle provesti statističke analize i poboljšanja procesa, procese je potrebno dovesti u stanje statističke kontrole, tj. procesi moraju biti pod kontrolom. To znači da proces moramo tako podesiti da funkcionira približno po normalnoj razdiobi (isti oblik krivulje i aritmetička sredina) kroz određeni tijek vremena. U cilju stavljanja procesa pod kontrolu potrebno je utvrditi i odstraniti izvore značajnih poremećaja u procesu. Slikom 5.3 dan je prikaz procesa koji nije pod kontrolom i procesa koji je pod kontrolom.

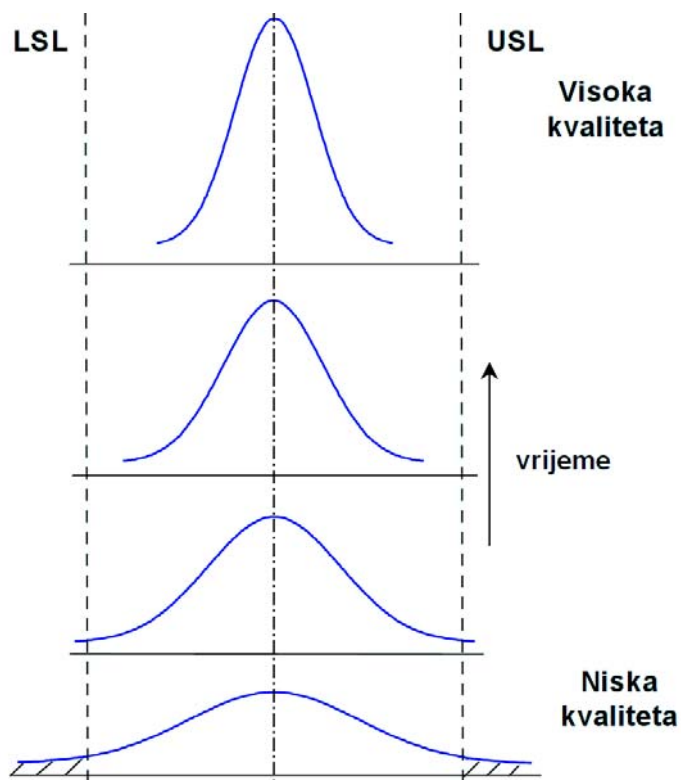


Slika 5.3: Dovođenje procesa "pod kontrolu"

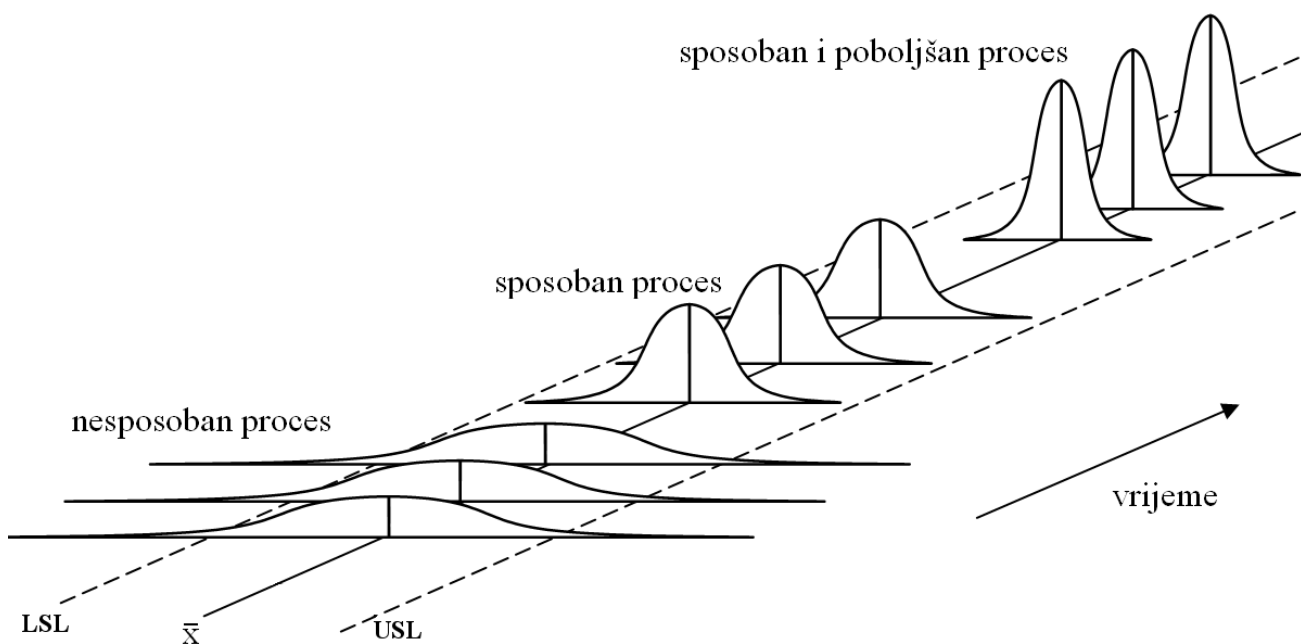
Nakon što je proces doveden pod kontrolu tj. kada su otklonjeni glavni uzroci odstupanja (kada je proces unutar kontrolnih granica), potrebno ga je dovesti unutar zahtijevanih granica (granica dopuštenih odstupanja) tj. potrebno je poboljšati kvalitetu. Dio procesa koji je izvan tih granica predstavlja škart. Na Slici 5.4 objašnjeno je dovođenje procesa unutar granica dopuštenih odstupanja, tj. povećanje razine kvalitete. Otklanjanjem značajnih uzroka varijacija u procesu i dovođenjem sredine procesa u okoliš ciljane vrijednosti ima smisla procjenjivati njegovu sposobnost.

Sposobnost procesa se definira kao prirodno ili obavezno (bitno) variranje karakteristika kvalitete, koje je primjetno mjerenjem karakteristike kvalitete od proizvoda do proizvoda ili pak na jednom proizvodu u dužem intervalu tokom njegove izrade, promatrajući periodično određene uzorke proizvoda. Spomenute varijacije javljaju se u svakoj proizvodnji i svakom procesu, bez obzira na automatiziranost procesa. Analizom sposobnosti procesa se primarno analizira rasipanje procesa, odnosno utvrđeno rasipanje se stavlja u vezu s granicama dopuštenih odstupanja. Cilj je osiguravanja kvalitete smanjenje rasipanja procesa te ostvarenje sposobnog procesa. Metodologija "Šest sigma" je stoga upravo i usmjerena na smanjenje rasipanja.

Proces je sposoban ako je raspon zahtjeva veći ili jednak od granica procesa i to je temeljni uvjet sposobnosti procesa (gornje dvije krivulje na Slici 5.4). Raspon zahtjeva (tolerancijsko područje) T je područje između gornje (USL) i donje granice zahtjeva (LSL), odnosno $T = USL - LSL$. Raspon procesa podrazumijeva područje unutar ± 3 standardna odstupanja (6σ) u odnosu na sredinu procesa tj. 99,73 % površine ispod krivulje normalne raspodjele kojom se aproksimira proces.



Slika 5.4: Poboljšanje kvalitete



Slika 5.5: Sposobnost procesa

5.3. Indeksi sposobnosti procesa

U opisu izvođenja procesa koriste se dva indeksa sposobnosti C_p i C_{pk} , koji procjenjuju sposobnost procesa u dužem vremenskom razdoblju. Indeksi sposobnosti procesa računaju se nakon odvijanja procesa tijekom razložno dugog vremenskog razdoblja u kojem su se mogli pojaviti svi mogući utjecaji varijacija procesa. Preporuka je 20 proizvodnih dana.

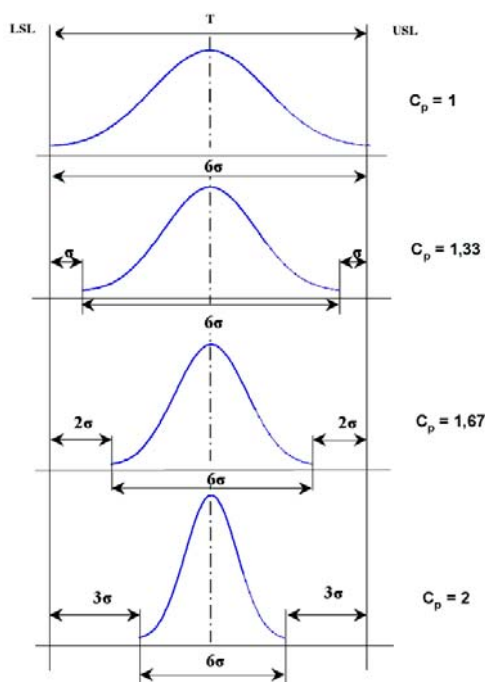
5.3.1. Potencijalna sposobnost - C_p

Indeks C_p predstavlja omjer razlike dopuštenih odstupanja, tj. širine tolerancijskog polja između USL i LSL (gornje i donje granice) i 6σ , te opisuje dopušteno rasipanje podataka u odnosu na stvarno rasipanje podataka, kada podatci slijede normalnu razdiobu.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{T}{6\sigma}$$

Ovaj indeks pretpostavlja idealan slučaj u kojem se proces nalazi u sredini među granicama (centrirani proces), što predstavlja proces koji je dostigao željeni cilj. U stvarnom životu se rijetki procesi nalaze u tom stanju. Nedostatak ovog indeksa je u tome što zanemaruje sredinu procesa, te se u slučaju loše centriranosti procesa može doći do pogrešnog zaključka.

Iznos indeksa C_p neposredno pokazuje je li proces sposoban. Što je iznos indeksa veći to je rasipanje procesa manje (Slika 5.6). Teorijski je proces sposoban ako je $C_p \geq 1$, no u pravilu se zahtjeva i veća sposobnost. Da bi C_p iznosio 1, potrebno je da se gornja i donja granica dopuštenog odstupanja nalazi na 3σ od sredine. U tom se slučaju unutar granica nalazi 99,73% površine krivulje. U razvijenim zemljama danas se zahtjeva da najmanja vrijednost indeksa C_p iznosi 1,33. Taj zahtjev neke kompanije podižu na 1,67, odnosno na $C_p=2$, što odgovara razini kvalitete od 6σ .



Slika 5.6: Potencijalna sposobnost C_p

5.3.2. Demonstrirana izvrsnost - C_{pk}

Indeks C_{pk} mjeri stvarne sposobnosti procesa, jer uzima u obzir i pomak procesa. Njegov iznos pokazuje da li proces daje škart. Ako je iznos indeksa veći od 1, onda proces ne daje škart.

$$C_{pk} = \min \left[\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right]$$

Pri čemu su: USL – gornja granica dopuštenih odstupanja, LSL – donja granica dopuštenih odstupanja i μ – aritmetička sredina procesa.

Ako je proces idealno centriran onda je $C_{pk} = C_p$, a uvijek je $C_{pk} \leq C_p$.

Nakon izračuna sposobnosti procesa, poduzimaju se odgovarajuće korektivne mjere u cilju eliminiranja uzroka neodgovarajućeg podešavanja procesa i/ili povećanog rasipanja procesa. Prikaz vrijednosti indeksa sposobnosti procesa, ocjena njihovih sposobnosti i potrebnih korektivnih mjera dan je TABLICA 5.2.

TABLICA 5.2: Ocjena sposobnosti procesa

C_p	C_{pk}	Ocjena sposobnosti procesa
$C_p < 1$		Proces nije sposoban (proces proizvodni nesukladne jedinice - škart) * C_p ne pokazuje je li proces centriran
$C_p = C_{pk}$		Proces je centriran
$C_p \geq C_{pk}$		Koeficijent C_{pk} je uvijek manji ili jednak koeficijentu C_p
$C_p \geq 1$		Proces je sposoban
	$C_{pk} = 1$	Proces ne proizvodi nesukladne jedinice
	$C_{pk} < 1$	Proces proizvodi nesukladne jedinice
	$C_{pk} = 0$	Sredina procesa je jednaka jednoj granici specifikacije
	$C_{pk} < 0$	Negativna vrijednost koeficijenta C_{pk} pokazuje da se sredina procesa nalazi izvan granica specifikacije

Vrijednosti C_p i C_{pk} su određene za procese sa normalnom razdiobom, ali ne ponašaju se svi procesi po zakonu normalne razdiobe. Bez poznavanja razdiobe kojom se opisuje proces, upotreba C_{pk} vrijednosti može nepravilno utjecati na procjenu i dovesti do loših poslovnih odluka.

Postoje tri tehnike kojima se mogu ispraviti "ne-normalne" distribucije:

- pretvoriti podatke i specifikaciju granica u normalnu distribuciju;
- koristiti empiričku metodu koja odgovara "ne-normalnoj" razdiobi procesa te na osnovu podataka procijeniti postotak proizvoda koji su izvan granica dopuštenih odstupanja. Neprilagođeni postotak je tada povezan s ekvivalentnim indeksom sposobnosti procesa s normalnom razdiobom;
- pametno koristiti indeks C_{pk} s potpunim znanjem izgleda razdiobe procesa kako bi se procijenili pravci sposobnosti.

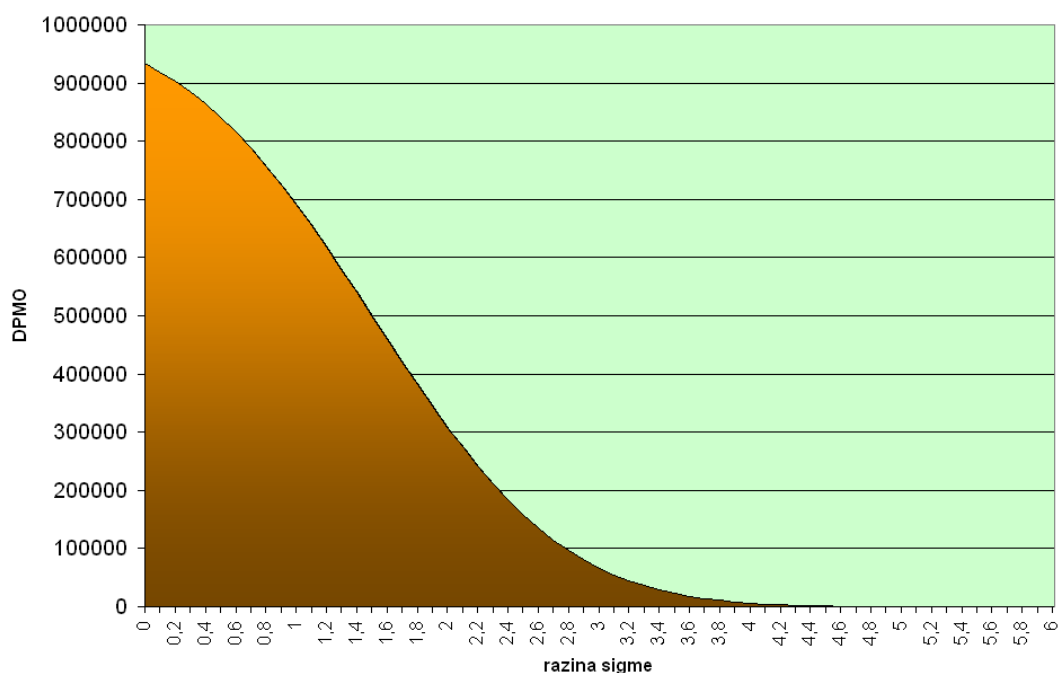
5.4. Pomak procesa

Ako se normalna razdioba gleda statistički, površina koja je omeđena sa $\pm 6\sigma$ odgovara vjerojatnosti od 99,9999998% što odgovara pojavi dvije greške na milijardu mogućnosti ili 0,002 greške na milijun mogućnosti. Motorola je ustvrdila da svaki proces varira tokom vremena i to su nazvali Dugoročna dinamička srednja varijacija (eng. Long-Term Dynamic Mean Variation), koja obično iznosi između 1,4 i 1,6.

Zbog toga se u teoriji "Šest sigme", iskustveno uzima iznos pomaka procesa od središta za $1,5\sigma$, što se danas uzima kao "standard" za najgori slučaj pomaka, iz čega proizlazi da broj grešaka iznosi 3,4 po milijunu (što realno odgovara sigma vrijednosti $4,5\sigma$). Kada se govori o metodologiji "Šest sigma" tada se upravo govori o slučaju s pomakom jer su to praktične vrijednosti diskretnih iznosa grešaka na milijun mogućnosti (eng. Defects per Million Opportunities - DPMO) nakon primjene pomaka od $1,5\sigma$ koje su prikazane u TABLICI 5.3 i na Slici 5.7.

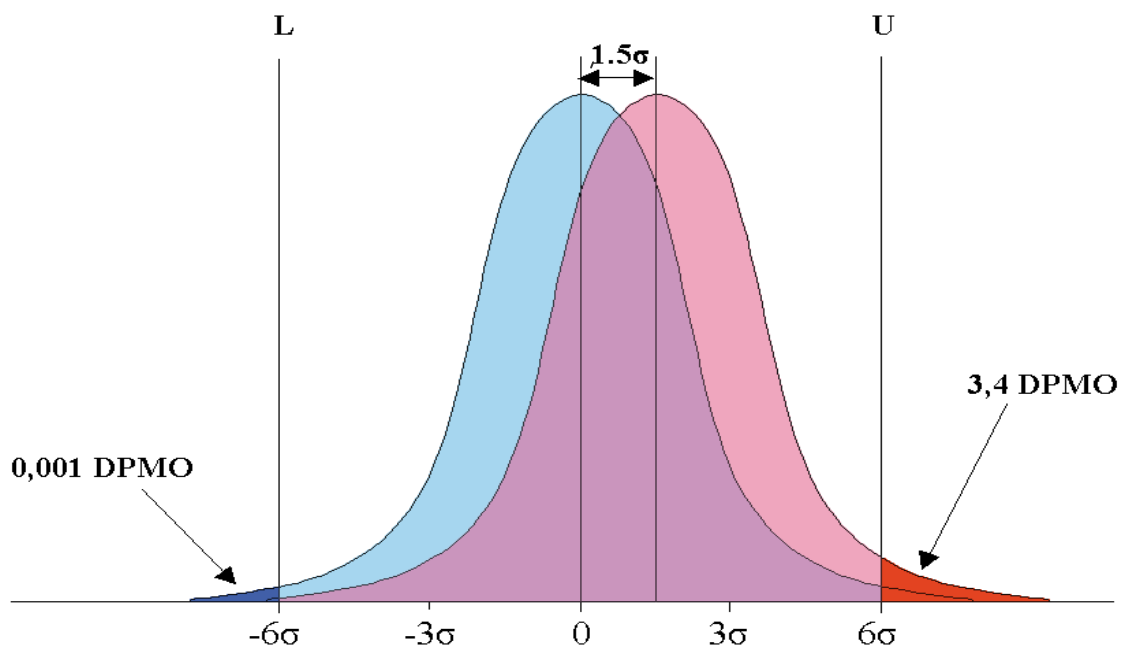
TABLICA 5.3: Broj grešaka po milijunu mogućnosti (s $1,5\sigma$ pomakom)

Sigma	DPMO	Sigma	DPMO	Sigma	DPMO
0	933192,7712	2,1	274253,0649	4,2	3467,0231
0,1	919243,2887	2,2	241963,5785	4,3	2555,1906
0,2	903199,4505	2,3	211855,3339	4,4	1865,8801
0,3	884930,2683	2,4	184060,0917	4,5	1349,9672
0,4	864333,8985	2,5	158655,2598	4,6	967,6712
0,5	841344,7402	2,6	135666,1015	4,7	687,2021
0,6	815939,9083	2,7	115069,7317	4,8	483,4825
0,7	788144,6661	2,8	96800,5495	4,9	336,9808
0,8	758036,4215	2,9	80756,7113	5	232,6734
0,9	725746,9351	3	66807,2288	5,1	159,1457
1	691462,4674	3,1	54799,2895	5,2	107,8301
1,1	655421,6966	3,2	44565,4318	5,3	72,3724
1,2	617911,3575	3,3	35930,2655	5,4	48,1155
1,3	579259,6872	3,4	28716,4929	5,5	31,6860
1,4	539827,8955	3,5	22750,0620	5,6	20,6687
1,5	500000,0002	3,6	17864,3574	5,7	13,3541
1,6	460172,1045	3,7	13903,3989	5,8	8,5460
1,7	420740,3128	3,8	10724,0811	5,9	5,4170
1,8	382088,6425	3,9	8197,5289	6	3,4008
1,9	344578,3034	4	6209,6799		
2	308537,5326	4,1	4661,2218		



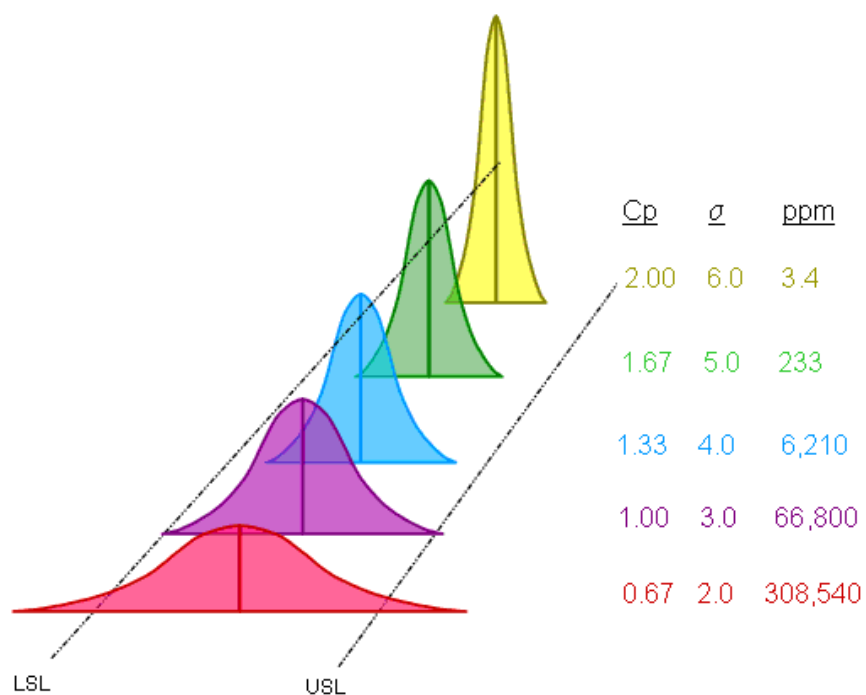
Slika 5.7: Ovisnost DPMO o razini sigme

Slika 5.8 prikazuje normalnu razdiobu za "Šest sigma" bez pomaka i sa njim. Crveni dio predstavlja DPMO nakon pomaka. On se nalazi izvan granica dopuštenih odstupanja. USL predstavlja gornju, a LSL donju granicu. U ovakvom slučaju dolazi do 3,4 DPMO iznad gornje granice, a dio ispod donje je zanemariv. U slučaju negativnog pomaka bi došlo do 3,4 DPMO ispod donje granice, zbog simetričnosti Gaussove razdiobe. Proces bez pomaka ima 0,001 DPMO sa svake strane granice (što iznosi 2 greške po milijardi).



Slika 5.8: Pomak razdiobe

Veza između razine sigme i potencijalne sposobnosti procesa prikazana je Slikom 5.9 i u TABLICI 5.4.

Slika 5.9: Veza sigme i potencijalne sposobnosti C_p TABLICA 5.4: Veza sigme i potencijalne sposobnosti C_p

P (%)	DPMO	Sigma (σ)	Cp ekvivalent	Trošak loše kvalitete
84,0	160 000	2,50	0,83	40%
87,0	130 000	2,63	0,88	
90,0	100 000	2,78	0,93	
93,0	70 000	2,97	0,99	
93,5	65 000	3,01	1,00	
94,0	60 000	3,05	1,02	
94,5	55 000	3,10	1,03	30%
95,0	50 000	3,14	1,05	
95,5	45 000	3,20	1,06	
96,0	40 000	3,25	1,08	
96,5	35 000	3,31	1,10	
97,0	30 000	3,38	1,13	
97,5	25 000	3,46	1,15	
98,0	20 000	3,55	1,18	20%
98,5	15 000	3,67	1,22	
99,0	10 000	3,82	1,27	
99,5	5 000	4,07	1,36	
99,8	2 000	4,37	1,46	
99,9	1,000	4,60	1,53	10%
99,95	500	4,79	1,60	
99,975	250	4,98	1,66	5%
99,99	100	5,22	1,74	
99,998	20	5,61	1,87	
99,99966	3,4	6,00	2,00	

6. PRIMJENA 6 SIGMA

6.1. Koraci uvođenja "Šest sigma" metodologije

Nakon više od dva desetljeća iskustva sa poboljšanjem kvalitete, sada postoje mnoga znanstvena istraživanja koja se odnose na iskustva tisuće poduzeća koja su uvela programe kao što je "Šest sigma". Istraživači su otkrili da uspješno uvođenje "Šest sigme" uključuje fokusiranje na nekoliko važnih pojedinosti. Koraci potrebni za uspješno uvođenje "Šest sigme" su pažljivo dokumentirani i glase:

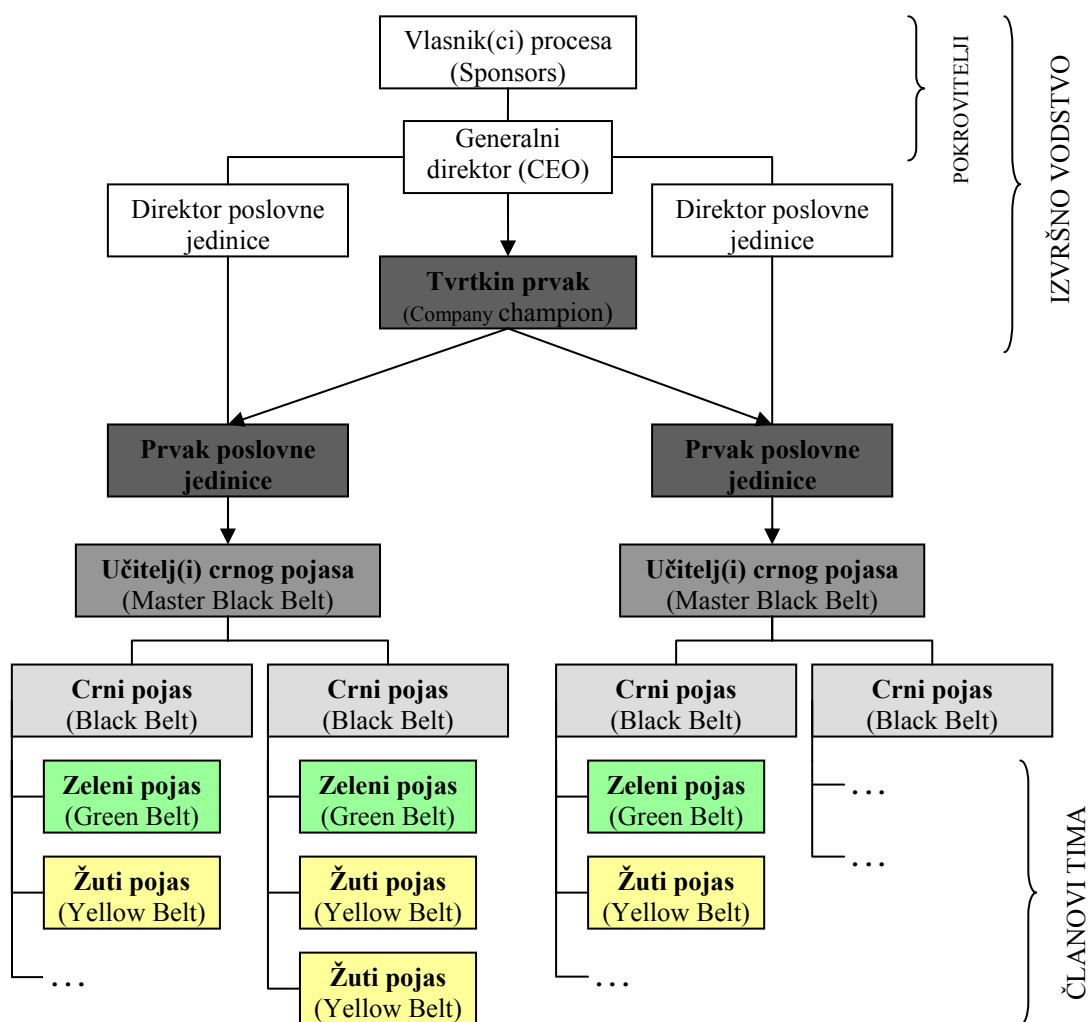
1. Uspješna provedba poboljšanja mora početi od najvišeg vodstva. Ona započinje sa obučavanjem vodstva o načelima i alatima koji su im potrebni kako bi pripremili poduzeće za uspjeh. Koristeći njihovo tek dobiveno znanje, vodstvo usmjerava razvijanje upravljačke strukture kako bi podržala metodologiju "Šest sigma". Istovremeno se poduzimaju koraci prilagođavanja organizacije i priprema se okruženje za inovacije i kreativnost. To uključuje smanjenje razina organizacijske hijerarhije, uklanjanje proceduralnih prepreka u eksperimentiranju i promjenama te mnoge druge promjene kojima je cilj olakšano isprobavanje novih stvari bez straha od posljedica.
2. Razvijaju se sustavi za izgradnju bliske komunikacije s kupcima, zaposlenicima i nabavljačima. To uključuje razvijanje oštih metoda za pridobivanje i procjenjivanje kupaca, zaposlenika i nabavljača. Provode se studije kako bi se odredila startna točka i kulturne, političke i proceduralne zapreke prema uspjehu.
3. Obuka treba biti strogo određena. Vršiti se obrazovanje svih zaposlenika o osnovnim pomoćnim vještinama kako bi se osigurala potrebna razina pismenosti. Provodi se obuka od vrha prema dnu u alatima, tehnici i filozofiji poboljšavanja sustava.
4. Razvija se okosnica za daljnja poboljšanja procesa, uz sustav pokazatelja napretka i uspjeha. Metrika "Šest sigme" se fokusira na strateške ciljeve i ključne poslovne procese organizacije.
5. Rukovodstvo i ljudi, koji poznaju proces na svim razinama poduzeća, izabiru poslovne procese koje treba poboljšati. Projekti "Šest sigma" se provode kako bi se poboljšalo poslovanje koje je povezano s mjerljivim financijskim rezultatima. To zahtijeva znanje o ograničenjima poduzeća.
6. Pojedini zaposlenici i ekipe, vođene Zelenim pojasevima i pomagane od strane Crnih pojaseva, vode "Šest sigma" projekte.

Iako je pristup jednostavan, on nikako nije lagan. Ali rezultati opravdavaju uloženi trud. Istraživanje je pokazalo da poduzeća, koja su uspješno uvela metodologiju "Šest sigma", postižu bolje rezultate u svim kategorijama poslovanja, uključujući prodaju, investicije, zaposlenost i vrijednost dionica.

6.2. Sudionici "Šest sigma" projekta

Za uspjeh uvođenja metodologije "Šest sigma" u tvrtku iznimno su važni ljudi. Kao i u svim ostalim tehnikama menadžmenta, najkritičniji je način raspoređivanja poslova tj. dodjeljivanja ljudi na određene poslove pa tako i na uvođenje projekta "Šest sigma". Ostvarenje uspješne infrastrukture za uvođenje "Šest sigma" metodologije u tvrtku je posao korjenite promjene načina razmišljanja, kojeg je potrebno "ugraditi" u sve zaposlenike u njihovom svakodnevnom radu.

U "Šest sigma" metodologiji postoji, što se infrastrukture tiče, hijerarhijska i organizacijska ljestvica unutar tvrtke. Takva hijerarhija preuzeta je iz borilačkih vještina i označava razinu znanja i vještina potrebnih za rad sa "Šest sigma" projektima. Grafički prikaz hijerarhije dan je Slikom 6.1, a nadalje će se pojasniti svaki element hijerarhije.



Slika 6.1: Hijerarhija za uvođenje "Šest sigma" metodologije

6.2.1. Pokrovitelji

Pokrovitelji (eng. sponsors) su vlasnici kapitala tj. procesa i sustava, te je njihova uloga da kao vlasnici kapitala pomognu započeti i koordinirati aktivnosti poboljšanja koje se provode pomoću "Šest sigma" metodologije u okviru njihovih odgovornosti. Pokrovitelji su u biti dioničari ili pojedinačni vlasnici tvrtke i oni kao takvi imaju pravo glasa, pravo potraživanja na zaradu i imovinu poduzeća u slučaju dobrog poslovanja ili stečaja. Pravo upravljanja se realizira na skupštini dioničara.

6.2.2. Izvršno vodstvo

Izvršno vodstvo (eng. leadership) čine generalni direktor (eng. CEO), te upravni odbor koji se sastoji od direktora pojedinih sektora tj. poslovnih jedinica, a oni su odgovorni za upravljanje tvrtkom. Izvršno vodstvo kao takvo je najodgovornije za uvođenje programa "Šest sigma" u tvrtku, jer ima zadaću:

- promijeniti način razmišljanja u tvrtci,
- objasniti ciljeve uvođenja promjena u tvrtku,
- uvesti i poticati edukaciju zaposlenika,
- koordinirati uvođenje promjena i
- odabrati prave ljude za posao.

Uspješnost provedbe "Šest sigma" metodologije najviše ovisi o predanosti vodstva.

6.2.3. Prvaci

Prvak (eng. champion) je izvršni menadžer zadužen za kvalitetu. Postoji dvije razine prvaka: tvrtkin prvak koji je na funkciji zamjenika generalnog direktora, te uz njega i upravni odbor upravlja tvrtkom te brine za kvalitetu na razini tvrtke, a postoje i prvaci poslovnih jedinica koji zajedno s direktorima poslovnih jedinica vode pojedine jedinice i brinu o kvaliteti na razini njihove oblasti.

Općenito je zadaća prvaka promicanje svijesti o kvaliteti, postavljanje ciljeva, definiranje procesa, osiguravanje sredstava i redovito nadziranje projekata. Oni rješavaju prepreke koje se nalaze na putu ostvarenja visoke razine kvalitete, implementiraju promjene u tvrtku te odobravaju projekte i vrše odabir crnih i zelenih pojaseva.

6.2.4. Učitelji crnog pojasa

Učitelji crnog pojasa (eng. master black belt) su statistički eksperti koji imaju visoko razvijene tehničke, organizacijske i komunikacijske vještine. Njihova primarna uloga je edukacija i vođenje "Šest sigma" projekata. Oni vrše treniranje crnih pojaseva i statističku edukaciju unutar tvrtke, te nadziru projekte koje vode crni pojasevi, te utječu na učinkovitost izvršenja svakog pojedinog projekta.

Kao osobe s visokom razinom tehničkih i organizacijskih sposobnosti sudjeluju u oblikovanju poslovne strategije i odabiru projekata koji su u skladu sa strategijom tvrtke. Njihova je zadaća također uključuje i stratešku i izvršnu pomoć prvacima te prezentiranje projekata "Šest sigma" višem menadžmentu.

6.2.5. Crni pojasevi

Crni pojasevi (eng. black belt) su osobe koje moraju imati tehnička znanja potrebna za provođenje "Šest sigma" projekta u djelo. Oni trebaju poznavati tehničke i statističke alate (regresijska analiza, testiranje hipoteza, analiza varijance, dizajn eksperimenata, ...) i trebaju se znati koristiti računalom i raznolikim programima te imati znanja iz više matematike. Nakon obrade podataka oni trebaju znati "prevesti" rezultate tehničke analize na jezik novca.

Oni vode projekte te stoga uz tehničko znanje trebaju imati i dobre sposobnosti vođenja i komunikacijske vještine. Crni su pojasevi najviše usmjereni na faze mjerenja, analize, poboljšanja i kontrole procesa te je stoga njihova zadaća usmjerena na razvijanje i nadgledanje pojedinih faza. Crni pojasevi također imaju i edukacijsku ulogu na nižim razinama.

6.2.6. Zeleni pojasevi

Zeleni pojasevi (eng. green belt) su voditelji pojedinih projekata koji imaju sposobnosti osnivanja i vođenja timova te pomažu crnim pojasevima u poslovima upravljanja pojedinim projektima. Oni poznaju DMAIC metodologiju i posjeduju osnovna znanja o statistici, grafičkim alatima i statističkoj kontroli procesa, a dobri kandidati se promoviraju u crne pojaseve.

6.2.7. Žuti pojasevi

Žuti pojasevi (eng. yellow belt) su članovi "Šest sigma" timova i oni su upoznati s koristima "Šest sigma" projekata, "Šest sigma" rječnikom i DMAIC metodologijom. Njihova je zadaća prikupljanje podataka i provođenje eksperimenata jer su oni uobičajeno zaduženi za pojedini proces. Kao dio tima žuti pojas sudjeluje na sastancima, uvodi promjene i pridonosi provedbi projekata

6.3. Primjeri rezultata primjene "Šest sigma"

6.3.1. Usporedbe razina pouzdanosti

Često se izvedba nekog procesa procjenjuje koristeći postotke. U svakome procesu želi se ostvariti što je moguće veća sigurnost tj. pouzdanost u rad. Kada se gleda na vjerojatnost od 100% kao najvišu razinu sigurnosti tada možda i postotak od 99% može značiti veliku sigurnost, ali pokazati će se da ipak i ta razina ponekad nije dovoljna. To je vrlo primjetno u procesima s velikim brojem jedinica npr. veliki broj bankovnih transakcija, pisama i sl. U takvim slučajevima očitu ulogu igraju decimalna mjesta iza tih 99% jer ona osiguravaju da proces teži ka savršenstvu tj. pouzdanosti od 100%.

Kad bi svi procesi radili sa sigurnošću od 99% za što se smatra da je to izvedba bez greške (to je bio standard kvalitete vlade SAD-a u Drugom svjetskom ratu), što otprilike predstavlja $3,82\sigma$, to bi značilo slijedeće:

- nestanak struje skoro 7 sati mjesečno,
- nepitka voda 15 minuta dnevno,
- 5 000 pogrešnih operacijskih zahvata tjedno,
- dva neuspjela slijetanja na velikim aerodromima dnevno,
- 20 000 izgubljenih pisama u pošti po satu,
- 200 000 krivo napisanih recepata za lijekove godišnje,
- 23,7 milijardi krivo usmjerenih telefonskih poziva,
- 270 000 000 grešaka pri transakcijama kreditnim karticama.

Kada se pogledaju navedeni podatci, tada postotak tj. sigurnost rada od 99% i nije baš nešto. Zasižno ne bi voljeli biti jedan pacijent kod doktora koji radi sa ovakvom sigurnošću ili dobiti krivo napisan recept ili veliki račun na kreditnoj kartici. Ako pokušamo raditi sa sigurnošću od 99,9% tj. sa $4,6\sigma$ tada bi situacija izgledala prema primjeru SAD-a na slijedeći način:

- 20 000 krivo napisanih recepata za lijekove godišnje,
- 25 000 mrtvorodenčadi godišnje,
- 2 loša slijetanja dnevno na većini aerodroma u SAD-u,
- 500 loše izvedenih kirurških operacija tjedno,
- 32 000 krivo proknjiženih čekova po satu,
- 1,7 grešaka dnevno na intenzivnoj njezi (1 od 5 je smrtonosna!),
- 1 sat na mjesec loše kvalitete vode za piće,
- 400 pisama po satu koja nikad neće stići na odredište.

Uočljivo je da tih 0,9% dodanih na prijašnjih 99% čini ipak veliku razliku, ali uvijek treba težiti savršenstvu pa se stoga i provode mjere "Šest sigma" metodologije koja osigurava razinu pouzdanosti od 99,99966% tj. samo 3,4 greške na milijun prilika. U današnjem društvu procesi funkcioniraju otprilike na slijedeći način:

- računi u restoranima i liječničke uputnice su zbog rukopisa su sigurne $2,9\sigma$,
- prosječno poduzeće djeluje na oko 3σ ,
- vrhunsko poduzeće djeluje na bar $5,7\sigma$,
- prtljagom na aerodromima se rukuje sa sigurnošću od oko $3,2\sigma$,
- smrtnost u zračnom prometu je $6,2\sigma$.

Da se stekne dojam o razinama sigme tj. pouzdanosti rada nekih procesa dan je prikaz u Tablici 6.1 gdje su dane usporedbe nekih situacija (u sportu, pisanju i vremenu) i njihovo tumačenje kroz sigma razine s primjenom pomaka od $1,5\sigma$.

TABLICA 6.1: Primjeri razina sigme

Razina sigme	Sport:	Greške u pisanju:	Vrijeme:
3	1 promašen udarac po utakmici	1,5 pogrešno napisana riječ po stranici u knjizi	3,5 mjeseci po stoljeću
4	1 promašen udarac u 9 utakmica	1 pogrešno napisana riječ u 30 stranica knjige	2,5 dana po stoljeću
5	1 promašen udarac u 2,33 godine	1 pogrešno napisana riječ u skupini enciklopedija	30 minuta po stoljeću
6	1 promašen udarac u 163 godine	1 pogrešno napisana riječ u svim knjigama manje knjižnice	6 sekundi po stoljeću

Usporedba nekih događaja povezana preko razina sigme dana je u Tablici 6.2.

TABLICA 6.2: Razina sigme za događaje

Događaj (primjer):	1 sigma	3 sigma	6 sigma
Broj sati bez električne energije ili telefona godišnje (od ukupno 24 sata dnevno)	6 044	585	0,03
Broj izgubljene pošte (od 1 600 komada godišnje)	1 106	107	0,005
Broj praznih šalica kave (680 šalica godišnje)	470	45	0,0023
Broj prekida veza (pretpostavka da se priča 7 000 minuta godišnje)	4 839	467	0,2
Netočne narudžbe od dobavljača za velike tvrtke (od 250 000 narudžbi godišnje)	172 924	16 694	0,9

6.3.2. Rezultati tvrtki koje koriste 6σ metodologiju

Proizvodnja kvalitetnih proizvoda i usluga bit je zadovoljstva kupaca. Poduzeća koja teže savršenstvu, što se kvalitete tiče, drže vodeća mjesta na konkurentskoj ljestvici. U današnje vrijeme globalizacije cijene roba i usluga su više manje tržišno definirane, marketing je sve jači i agresivniji, a tvrtke se moraju boriti za svakog kupca. Već od početka 1990-ih godina shvatilo se da se na kvalitetu mora posvetiti posebna pažnja jer ona je u biti ono što čini kupca zadovoljnim i osigurava tvrtki profit.

Počevši sa Motorolom te General Electricom i ostalima, korištenje metodologije "Šest sigma" u zadnje vrijeme uzima sve veći zamah u sve više tvrtki kojima je to još jedan korak u ispunjavanju zadaće premašivanja kupčevih očekivanja. Ova metodologija postala je integralni dio kulture i filozofije unutar tvrtki koje imaju za cilj neprekidno poboljšanje kvalitete. Metodologija "Šest sigma" prepoznata je od strane mnogo tvrtki kao najuspješniji proces poboljšanja u svijetu. Ovu metodologiju među ostalima koriste mnoge poznate tvrtke i sektori kao što su:

Motorola,	Federal Express,	Sony,
General Electric,	Ford,	Tenneco Automotive,
Allied Signal/ Honeywell,	Johnson & Johnson,	Texas Instruments,
American Express,	Johnson Controls,	Textron,
Black and Decker,	Kodak,	Toshiba,
Boeing,	Lockheed Martin,	Xerox,
Bombardier,	Nokia,	zdravstvo,
Caterpillar,	Polaroid,	obrazovanje,
Dow Chemicals,	Raytheon,	vlade,
DuPont,	Seagate,	ostale usluge (npr. IT).

Prema istraživanju časopisa "iSixSigma Magazine" (izdanje 01/2007.) 500 tvrtki koje su izlistane na Internet stranici www.fortune.com na kojoj je popis najuspješnijih tvrtki u SAD-u i svijetu, uštedjele su, procjenjuje se oko 427 mlrd. \$. Ova procjena je bazirana na dokumentima izdanima od strane tvrtki u kojima navode uštede koje si proizašle od korištenja metodologije "Šest sigma".

Korištenje metodologije "Šest sigma" se posljednjih godina značajno povećalo pa tako kada se gleda 500 najuspješnijih tvrtki, njih 53% koristi ovu metodologiju, a taj postotak raste na 82% ako se gleda 100 najuspješnijih tvrtki koje su izlistane na spomenutoj stranici. Prema istraživanju provedenom u časopisu "iSixSigma Magazine", uvođenje metodologije "Šest sigma" u kompletno poslovanje tvrtke štedi u prosjeku 2% ukupnog prihoda godišnje.

U Tablici 6.3 dan je ilustrativan prikaz ušteda ostvarenih u nekim tvrtkama godišnje ili unutar određenog razdoblja korištenja koncepta "Šest sigma". Do današnjih dana uštede su još i veće i sve više tvrtki koristi ovu metodologiju kao snažno oružje za borbu s konkurencijom i alat za postizanje maksimalnog zadovoljstva kupaca.

TABLICA 6.3: Uštede nekih tvrtki primjenom 6σ

Tvrtka	Razdoblje	Ušteda	Ušteda u % prihoda
Motorola	1986. - 2006.	17 mlrd. \$	4,5
General Electric	1995. - 1999.	4,4 mlrd. \$	1,2
Honeywell	1998. - 2000.	1,8 mlrd. \$	2,4
Ford Motor	2000. - 2002.	1 mlrd \$	2,3
Black and Decker	1997. - 2000.	110 mil. \$	
Noranda/Falconbridge	2003. - 2004.	85 mil. \$	
Johnson Controls	2000.	22 mil. \$	
Teneco Automotive	2003.	7 mil. \$	
Seagate IT odjel	2003. - 2005.	4,5 mil. \$	
grad Fort Wayne, Indiana, SAD	2000. - 2005.	10 mil. \$	
Wipro	od uvođenja	44 mil. \$	
Raytheon Aircraft	od uvođenja	13 mil. \$	
Textron	u 6 mjeseci	5 mil. \$	

Prema istraživanju objavljenom na Internet stranici www.qualitydigest.com vidljivo je također da se primjenom metodologije "Šest sigma" postižu iznimna poboljšanja kako je to prikazano Tablicom 6.4.

TABLICA 6.4: Ostvareni dobitci primjenom 6σ metodologije

Rezultati	Zaposlenika na projektu	Zaposlenika u tvrtci
Smanjenje otpada uštedjelo 120 000 \$	75	100.000
Smanjeni troškovi za 50 000 \$ godišnje	120	350
Dostava na vrijeme poboljšana na 97%	120	125.000
Ušteda od 1 000 000 \$	200	3.000
Ušteda od otprilike 150 000 \$	240	4.500
Smanjeni škart za 15%, smanjena dorada za 25%	250	5.000
Smanjeno vrijeme ispada iz rada za 30%	300	7.000
Ušteda od 4 000 000 \$ godišnje	300	30.000
Poboljšani proizvodni ciklus za 43%, smanjen glavni uzrok grešaka za 50%	400	2.500
Povećana sposobnost proizvodnje za 12-16%	450	6.000
Ušteda od 780 000 \$ godišnje	500	93.000
Glavni uzrok žalbi kupaca 99% izbjegnut, ušteda više od 1 000 000 \$ godišnje	600	7.500
Ušteda od 20 000 000 \$ u dvije godine	1.000	20.000
Ušteda od 12 000 000 \$ u 2001 godini	1.000	4.000
Povećana produktivnost za 20%	1.000	1.500
Smanjene proizvodne greške za 67%	1.100	65.000
30 projekata završeno i uštedjeli su 14 625 800 \$	1.400	10.000
Ušteda od 5 000 000 \$ u troškovima tijekom prve dvije godine od uvođenja	1.800	48.000
Povećana produktivnost analiza pozivnog centra za 23%	3.000	350.000
Smanjenje loše usluge servisnog odjela za više od 50%	4.000	330.000
Više od 7 000 000 \$ u direktnim uštedama u šest mjeseci	8.000	21.000

7. ZAKLJUČAK

Metodologija "Šest sigma" je strategija bazirana na kupcu, to je disciplinirani i sistematski pristup baziran na mjerljivim podacima orijentiran na procese, kojemu je cilj smanjenje varijacija i to pomoću kvantitativnih statističkih metoda. Statistička mjera je 3,4 greške na milijun mogućnosti. "Šest sigma" metodologija je orijentirana na kupca ili korisnika i njegove potrebe, te teži njegovom maksimalnom zadovoljstvu jer u današnjem svijetu gdje su cijene tržišno definirane, samo kvaliteta može napraviti razliku i donijeti tvrtki profit.

Provođenje metodologije "Šest sigma" u djelo nije moguće preko noći i zahtijeva predan rad kompletnog osoblja tvrtke i korjenitu promjenu razmišljanja, jer je to filozofija kojoj je cilj maksimalno zadovoljstvo kupca. Pri tome je osobito važna potpora vodstva tvrtke koje se mora prilagoditi donošenju odluka na osnovi brojčanih podataka. Značajan čimbenik u ostvarenju projekata "Šest sigma" je obrazovanje stručnjaka koji će voditi projekte, ali i upoznavanje svih radnika s osnovnim odrednicama "Šest sigma" metodologije.

Iz primjera tvrtki koje već godinama koriste ovu metodologiju može se zaključiti da je primjenom metodologije "Šest sigma" moguće ostvariti:

- povećanje razine kvalitete i vrijednosti dionica dotične tvrtke,
- poboljšanu pouzdanost i predvidljivost proizvoda i usluga,
- značajno smanjenje grešaka,
- bolju usmjerenost na proces,
- veću konkurentnost tvrtke i
- veće zadovoljstvo kupaca.

8. LITERATURA

- F. W. Breyfogle III, *Implementing Six Sigma*, John Wiley and Sons, New York, NY, 1999.
- Pande, Pete; Holpp, Larry: *What is Six sigma*, McGraw-Hill, New York,
- Pyzdek, Thomas: *The Six Sigma Revolution*, (internet priručnik)
- Pyzdek, Thomas: *Motorola's Six Sigma Program*, 1996.
- Mudronja, Vedran: *Analiza sposobnosti procesa*, Zagreb, 1997.
- *Internet adrese:* www.isixsigma.com
www.sixsigmaforum.com
www.sixsigmasystems.com
www.pyzdek.com
www.adamssixsigma.com
www.sixsigmatutorial.com
www.motorola.com/motorolauniversity.jsp
www.sixsigmainstitute.com
www.qualitydigest.com